

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-196672

(43)Date of publication of application : 19.07.2001

(51)Int.Cl.

H01S 3/10

G02F 1/35

H01S 3/06

(21)Application number : 2000-000954

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 06.01.2000

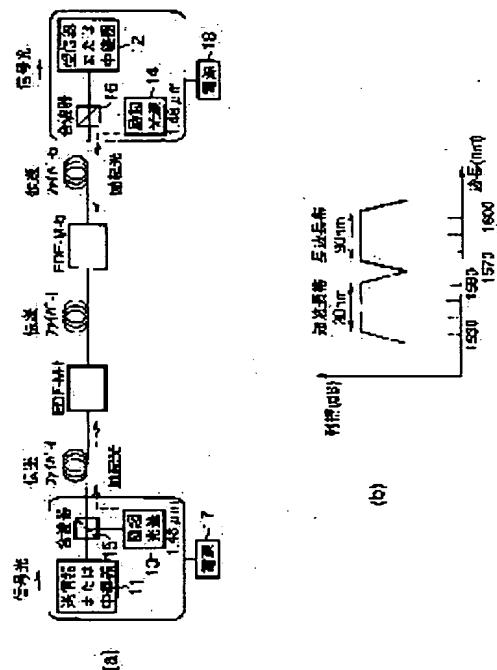
(72)Inventor : MASUDA KOJI
TAKACHIO NOBORU

(54) REMOTE STIMULATION OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEM AND OPTICAL FIBER MODULE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a remote stimulation optical fiber communication system and optical fiber module wherein a gain bandwidth is enlarged and the gain is stabilized.

SOLUTION: The signal light of multiplex wavelength is amplified with a rare earth-added fiber module for transmission through a transmission fiber. Here, a plurality of rare earth-doped fibers are simultaneously stimulated over a wide gain band width where the gain band widths of a plurality of wavelength bands are put together, related to a rare earth-doped fiber module.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.11.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 08.03.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3692271

[Date of registration] 24.06.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2005-05995

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 07.04.2005

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-196672

(P 2 0 0 1 - 1 9 6 6 7 2 A)

(43) 公開日 平成13年 7 月19日 (2001. 7. 19)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-コード (参考)
H01S 3/10		H01S 3/10	Z 2K002
G02F 1/35	501	G02F 1/35	501 5F072
H01S 3/06		H01S 3/06	B

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全13頁)

(21) 出願番号 特願2000-954 (P 2000-954)

(22) 出願日 平成12年 1 月 6 日 (2000. 1. 6)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

(72) 発明者 増田 浩次

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 高知尾 昇

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外 2 名)

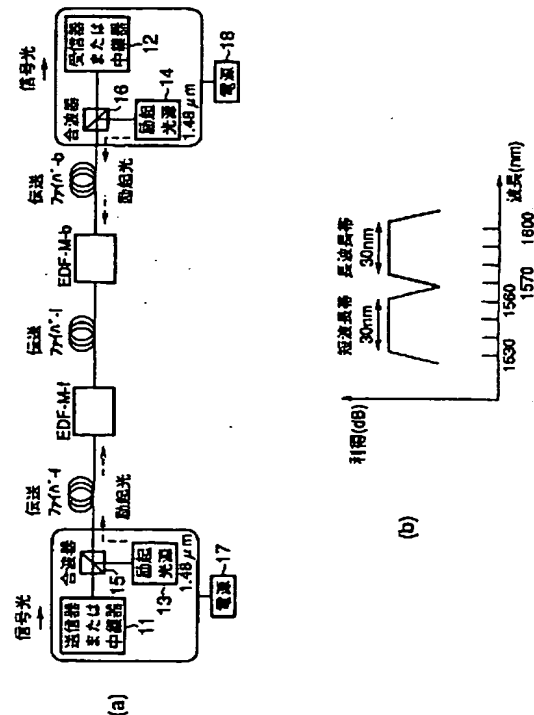
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 遠隔励起光ファイバ通信システム及び光ファイバモジュール

(57) 【要約】

【課題】 本発明の課題は、利得帯域幅を拡大でき、利得安定化を達成できる遠隔励起光ファイバ通信システム及び光ファイバモジュールを提供することにある。

【解決手段】 本発明は、波長多重された信号光を希土類添加ファイバモジュールで増幅して伝送ファイバにより伝送する遠隔励起光ファイバ通信システムにおいて、希土類添加ファイバモジュールにおいて、複数の希土類添加ファイバを同時に励起して、複数の波長帯の利得帯域幅を合わせた、大きな利得帯域幅を有するようにしたことを特徴とするものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、希土類添加ファイバモジュールと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、

前記希土類添加ファイバモジュールが、前記信号光を波長に応じて複数の波長帯に分割する信号光分波器と、前記波長帯に対応して設置した複数の希土類添加ファイバと、波長に応じて複数の波長帯に分割された前記信号光を合波する信号光合波器と、前記励起光を前記信号光と分波する励起光分波器と、前記励起光分波器で分波された励起光を、複数の光路に分岐する分岐器と、前記分岐器から出力した励起光を、前記希土類添加ファイバに導入するための励起光合波器を備えたことを特徴とする遠隔励起光ファイバ通信システム。

【請求項2】 波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、希土類添加ファイバモジュールと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、

前記希土類添加ファイバモジュールが、前記信号光の波長以外の波長でレーザ発振を行う希土類添加ファイバと、前記希土類添加ファイバの両端に設置した前記信号光を透過する反射素子を有することを特徴とする遠隔励起光ファイバ通信システム。

【請求項3】 波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、希土類添加ファイバモジュールと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、

前記希土類添加ファイバモジュールが、前記信号光の波

長以外の波長でレーザ発振を行う希土類添加ファイバと、前記希土類添加ファイバの両端に設置した、信号光とレーザ発振光の合波を行う合波器、および分波を行う分波器と、前記合波器と分波器を結ぶ光導波路を有することを特徴とする遠隔励起光ファイバ通信システム。

【請求項4】 波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、単数または複数の希土類添加ファイバと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、

前記希土類添加ファイバとして、前記希土類添加ファイバの利得のスペクトル、および、前記励起光で励起された前記伝送ファイバ内で生じたラマン利得のスペクトルが、ともに所定の波長範囲で非平坦であり、前記希土類添加ファイバの利得と前記ラマン利得を合わせた利得のスペクトルが、前記所定の波長範囲で平坦となる希土類添加ファイバを用いることを特徴とする遠隔励起光ファイバ通信システム。

【請求項5】 波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、単数または複数のエルビウム添加ファイバと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、

前記励起光の波長を、前記エルビウム添加ファイバの利得帯域の近傍の1490nm以上に設置することを特徴とする遠隔励起光ファイバ通信システム。

【請求項6】 波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、希土類添加ファイバモジュールと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、

前記希土類添加ファイバモジュールが、前記信号光を波

10

20

30

40

50

長に応じて複数の波長帯に分割する信号光分波器と、前記波長帯に対応して設置した複数の希土類添加ファイバと、前記各希土類添加ファイバの両端に設置した前記信号光を透過する反射素子と、波長に応じて複数の波長帯に分割された前記信号光を合波する信号光合波器と、前記励起光を前記信号光と分波する励起光分波器と、前記励起光分波器で分波された励起光を、複数の光路に分岐する分岐器と、前記分岐器から出力した励起光を、前記希土類添加ファイバに導入するための励起光合波器を備えたことを特徴とする遠隔励起光ファイバ通信システム。

【請求項7】 信号光を波長に応じて複数の波長帯に分割する信号光分波器と、前記波長帯に対応して設置した複数の希土類添加ファイバと、波長に応じて複数の波長帯に分割された前記信号光を合波する信号光合波器と、前記励起光を前記信号光と分波する励起光分波器と、前記励起光分波器で分波された励起光を、複数の光路に分岐する分岐器と、前記分岐器から出力した励起光を、前記希土類添加ファイバに導入するための励起光合波器を備えたことを特徴とする光ファイバモジュール。

【請求項8】 信号光を波長に応じて複数の波長帯に分割する信号光分波器と、前記波長帯に対応して設置した複数の希土類添加ファイバと、前記各希土類添加ファイバの両端に設置した前記信号光を透過する反射素子と、波長に応じて複数の波長帯に分割された前記信号光を合波する信号光合波器と、前記励起光を前記信号光と分波する励起光分波器と、前記励起光分波器で分波された励起光を、複数の光路に分岐する分岐器と、前記分岐器から出力した励起光を、前記希土類添加ファイバに導入するための励起光合波器を備えたことを特徴とする光ファイバモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重された信号光を用いた遠隔励起光ファイバ通信システム及び光ファイバモジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重の光ファイバ通信システムで用いられる。従来技術の遠隔励起システムの構成例を図9(a)に示す(文献[1] K. Aida et al., Proc. of E 40 COC, PDA-7, pp. 29-32, 1989、文献[2] N. Ohkawa et al., IEICE Trans. Commun., Vol. E81-B, pp. 586-596, 1998)。この遠隔励起システムでは、送信器または送信側中継器11から信号光を送出し、その信号光は、3つの伝送ファイバf、伝送ファイバi、伝送ファイバbを経由して受信器または受信側中継器12に達する。伝送ファイバfと伝送ファイバi、および伝送ファイバiと伝送ファイバbの間には、それぞれエルビウム添加ファイバEDF-fおよびEDF-bが設置されている。前記送信器または送信側中継器11およ

び受信器または受信側中継器12には、遠隔励起用の励起光源13, 14が隣接して設置され、その励起光源13, 14からの励起光と信号光は、合波器15, 16を用いて合波される。前記送信器または送信側中継器11、受信器または受信側中継器12、および励起光源13, 14は、電源17, 18に接続され給電されている。前記送信器または送信側中継器11および受信器または受信側中継器12に隣接した励起光源13, 14を、それぞれ前方励起光源13および後方励起光源14と呼ぶことにする。また、それらの励起光源13, 14からの励起光をそれぞれ前方励起光および後方励起光と呼ぶことにする。前方励起光は伝送ファイバfを通過後、エルビウム添加ファイバEDF-fを励起し、また、後方励起光は伝送ファイバbを通過後、エルビウム添加ファイバEDF-bを励起する。

【0003】前記励起光の波長は、エルビウム添加ファイバ(EDF)の励起に適した、1.48 μ m近傍の光である。図9(a)では1.48 μ mとしている。送信器または送信側中継器11を出た信号光は、伝送ファイバfで減衰した後、エルビウム添加ファイバEDF-fで増幅され、さらに、伝送ファイバiで減衰した後、エルビウム添加ファイバEDF-bで増幅され、伝送ファイバbを通過後、受信器または受信側中継器12に達する。したがって、伝送ファイバf、伝送ファイバi、伝送ファイバbを合わせた距離を、途中で給電することなく無中継で伝送することができる。遠隔励起されたエルビウム添加ファイバを用いない中継系に比べ、無中継距離すなわち中継間隔が大幅に伸長される点が、この遠隔励起の利点である。ただし、前方励起光源13とエルビウム添加ファイバEDF-f、または後方励起光源14とエルビウム添加ファイバEDF-bのいずれか一方のみを用いた構成を採用することもできる。また、一般に、前記励起光が伝搬する伝送ファイバ中では、信号光のラマン増幅が行われるため、ある程度の分布的な利得(ラマン利得)が付加される。前記送信器または送信側中継器11および受信器または受信側中継器12が線形中継器であり、図9(a)の中継ユニットが繰り返される、多中継システムも、明らかに可能である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】図9(a)の従来技術の遠隔励起システムにおける、信号光利得スペクトルを図9(b)に示す。エルビウム添加ファイバの利得スペクトルに対応して、概略1530-1560nmにおいて、ほぼ平坦な利得スペクトルが得られている。ただし図9(b)では簡単化したスペクトルを示しており、実際にはある程度の利得スペクトルのリップルが見られる。利得帯域幅は約30nmである。また、図9(b)は、利得スペクトルの入力励起光パワー依存性も示している。前記入力励起光パワーは、エルビウム添加ファイ

バへの入力パワーである。エルビウム添加ファイバの動作特性から、入力励起光パワーおよび信号光パワーが変動すると、利得スペクトルが図に示したように変化し、波長多重伝送における性能劣化をもたらす。前記入力励起光パワーおよび信号光パワーの変動は、励起光源の経時劣化や、伝送ファイバ損失の変化などによってもたらされる。したがって、従来技術においては、利得帯域が小さい値に制限されている。また、利得スペクトルの変動が起こるといった課題が生じている。

【0005】本発明は上記の事情に鑑みてなされたもので、利得帯域幅を拡大でき、また利得安定化（利得変動なし）を達成できる遠隔励起光ファイバ通信システム及び光ファイバモジュールを提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明は、波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、希土類添加ファイバモジュールと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、前記希土類添加ファイバモジュールが、前記信号光を波長に応じて複数の波長帯に分割する信号光分波器と、前記波長帯に対応して設置した複数の希土類添加ファイバと、波長に応じて複数の波長帯に分割された前記信号光を合波する信号光合波器と、前記励起光を前記信号光と分波する励起光分波器と、前記励起光分波器で分波された励起光を、複数の光路に分岐する分岐器と、前記分岐器から出力した励起光を、前記希土類添加ファイバに導入するための励起光合波器を備え、前記複数の希土類添加ファイバを同時に励起して、前記複数の波長帯の利得帯域幅を合わせた、大きな利得帯域幅を有することを特徴とするものである。

【0007】また本発明は、波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、希土類添加ファイバモジュールと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、前記希土類添加ファイバモジュールが、前記信号光の波長以外の波長でレーザ発振を行う希土類添加ファイバと、前記希土類添加

ファイバの両端に設置した前記信号光を透過する反射素子を有し、前記希土類添加ファイバの利得を、前記希土類添加ファイバへの入力励起光パワーおよび信号光パワーの変動に依らず、安定化したことを特徴とするものである。

【0008】また本発明は、波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、希土類添加ファイバモジュールと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、前記希土類添加ファイバモジュールが、前記信号光の波長以外の波長でレーザ発振を行う希土類添加ファイバと、前記希土類添加ファイバの両端に設置した、信号光とレーザ発振光の合波を行う合波器、および分波を行う分波器と、前記合波器と分波器を結ぶ光導波路を有し、前記希土類添加ファイバの利得を、前記希土類添加ファイバへの入力励起光パワーおよび信号光パワーの変動に依らず、安定化したことを特徴とするものである。

【0009】また本発明は、波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、単数または複数の希土類添加ファイバと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、前記希土類添加ファイバとして、前記希土類添加ファイバの利得のスペクトル、および、前記励起光で励起された前記伝送ファイバ内で生じたラマン利得のスペクトルが、ともに所定の波長範囲で非平坦であり、前記希土類添加ファイバの利得と前記ラマン利得を合わせた利得のスペクトルが、前記所定の波長範囲で平坦となる希土類添加ファイバを用い、大きな利得帯域幅を有することを特徴とするものである。

【0010】また本発明は、波長多重された信号光を出力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、単数または複数のエルビウム添加ファイバと、前記送信器または送信側

中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、前記励起光の波長を、前記エルビウム添加ファイバの利得帯域の近傍の1490nm以上に設置することにより、前記エルビウム添加ファイバの利得を、前記希土類添加ファイバへの入力励起光パワーおよび信号光パワーの変動に依らず安定化したことを特徴とするものである。

【0011】また本発明は、波長多重された信号光を出10
力する送信器または送信側中継器と、前記送信器または送信側中継器からの信号光を入力する受信器または受信側中継器と、前記送信器または送信側中継器と前記受信器または受信側中継器とを接続する複数の伝送ファイバと、前記伝送ファイバの間に設置した、希土類添加ファイバモジュールと、前記送信器または送信側中継器、および前記受信器または受信側中継器、の少なくとも一方に隣接して設置した励起光源と、前記励起光源からの励起光と信号光を合波する励起光源合波器を備えた遠隔励起光ファイバ通信システムであって、前記希土類添加20
ファイバモジュールが、前記信号光を波長に応じて複数の波長帯に分割する信号光分波器と、前記波長帯に対応して設置した複数の希土類添加ファイバと、前記各希土類添加ファイバの両端に設置した前記信号光を透過する反射素子と、波長に応じて複数の波長帯に分割された前記信号光を合波する信号光合波器と、前記励起光を前記信号光と分波する励起光分波器と、前記励起光分波器で分波された励起光を、複数の光路に分岐する分岐器と、前記分岐器から出力した励起光を、前記希土類添加ファイバに導入するための励起光合波器を備えたことを特徴と30
するものである。

【0012】また本発明の光ファイバモジュールは、信号光を波長に応じて複数の波長帯に分割する信号光分波器と、前記波長帯に対応して設置した複数の希土類添加ファイバと、波長に応じて複数の波長帯に分割された前記信号光を合波する信号光合波器と、前記励起光を前記信号光と分波する励起光分波器と、前記励起光分波器で分波された励起光を、複数の光路に分岐する分岐器と、前記分岐器から出力した励起光を、前記希土類添加ファイバに導入するための励起光合波器を備えたことを特徴40
とするものである。

【0013】また本発明の光ファイバモジュールは、信号光を波長に応じて複数の波長帯に分割する信号光分波器と、前記波長帯に対応して設置した複数の希土類添加ファイバと、前記各希土類添加ファイバの両端に設置した前記信号光を透過する反射素子と、波長に応じて複数の波長帯に分割された前記信号光を合波する信号光合波器と、前記励起光を前記信号光と分波する励起光分波器と、前記励起光分波器で分波された励起光を、複数の光路に分岐する分岐器と、前記分岐器から出力した励起光50

を、前記希土類添加ファイバに導入するための励起光合波器を備えたことを特徴とするものである。

【0014】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して本発明の実施の形態例を詳細に説明する。

【0015】本発明の遠隔励起光ファイバ通信システムの第1構成を、図1及び図2に示す。図中、図9と同一部分は同一符号を付してその説明を省略する。本第1構成では、利得帯域の拡大を図っている。図9の従来技術におけるエルビウム添加ファイバEDF-fおよびEDF-bを、エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bにそれぞれ置き換えた構成になっている。それらエルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bの構成は、図2(a), (b)に示されている。エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bは、おのおの2つのエルビウム添加ファイバを有している。それらはエルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fについてエルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-f-l、エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-bについてエルビウム添加ファイバEDF-b-sおよびEDF-b-lである。一般に、エルビウム添加ファイバの利得帯域には、短波長帯(1.55μm帯)および長波長帯(1.58μm帯)があるが、エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sは、短波長帯の増幅に用い、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lは、長波長帯の増幅に用いている。エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sと、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lの違いは主に長さにあり、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lは、エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sの数倍の長さを有する。

【0016】エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bに入射した波長多重の信号光は、それぞれ対応した信号光の分波器19, 20により、1.55μm帯と1.58μm帯の信号光に分離され、それぞれ対応した短波長帯のエルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sおよび長波長帯のエルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lに導かれて増幅される。その後、それぞれ対応した信号光の合波器21, 22により合波される。一方、励起光の流れは、以下のようにになっている。信号光とともにエルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fに入射した前方向励起光は、励起光の分波器23により信号光から分離され、分岐器25より適当な比率

(例えば、1:1、あるいは、1:2)で分岐され、励起光の合波器27, 28により、エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-f-lを信号光の入射

方向（前方向）から励起するように、信号光と合波される。また、信号光と逆方向からエルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-bに入射した後方向励起光は、励起光の分波器24により信号光から分離され、分岐器26により適当な比率（例えば、1:1、あるいは、1:2）で分岐され、励起光の合波器29、30により、エルビウム添加ファイバEDF-b-sおよびEDF-b-lを信号光の入射方向（前方向）から励起するように、信号光と合波される。ただし、エルビウム添加ファイバを上記とは逆に後方向から励起してもよい。前方向からの励起と後方向からの励起では、主に、エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bの雑音特性が異なる。

【0017】本第1構成で得られる利得スペクトルを、図1(b)に示す。短波長帯に30nm(1530-1560nm)の利得帯域幅と、長波長帯に30nm(1570-1600nm)の利得帯域幅が得られている。図9の従来技術では、短波長帯の30nm(1530-1560nm)の帯域幅であったから、利得帯域幅は、2倍になっている。すなわち、本第1構成により、利得帯域幅の拡大が図れる。

【0018】本発明の遠隔励起光ファイバ通信システムの第2構成を、図3及び図4に示す。図3(a)が概略図、図4が詳細図である。図中、図9と同一部分は同一符号を付してその説明を省略する。本第2構成では、利得の安定化を図っている。図4の従来技術における各エルビウム添加ファイバEDF-fおよびEDF-bのそれぞれ対応した前後に、ファイバグレーティングFG-f-f、FG-f-b、FG-b-f、FG-b-bを設置してエルビウム添加ファイバEDF-fおよびEDF-bをレーザ発振させ、光学的な利得一定制御を行っている（文献[3] J. Massicott et al., Electron. Lett., Vol. 32, pp. 816-817, 1996）。ファイバグレーティングの反射波長はエルビウム添加ファイバの増幅波長域内に設定され、レーザ発振の波長はそのファイバグレーティングの反射波長で決まる。また、ファイバグレーティングは信号光を透過させる。エルビウム添加ファイバEDF-fおよびEDF-bは、それぞれ両端のファイバグレーティングにより、いわゆるファブリーペロ型（Fabry-Pérot）の共振器でレーザ発振して、利得一定動作を行うが、ファイバグレーティングを用いない、リングレーザ共振器を用いた構成も可能である（文献[4] G. Luo et al., IEEE J. Lightwave Technol., Vol. 16, pp. 527-533, 1998）。本第2構成の詳細図および動作等に関しては、後述の実施例のところで説明する。

【0019】本第2構成における利得スペクトルを、図3(b)に示す。エルビウム添加ファイバ入力励起光パワー(Pp)依存性において、一定の利得スペクトルが得られており、従来技術の課題が解決されている。

【0020】本発明の遠隔励起光ファイバ通信システム

の第3構成を、図5に示す。図中、図9と同一部分は同一符号を付してその説明を省略する。本第3構成では、利得帯域の拡大を図っている。本第3構成では、図9の従来技術におけるエルビウム添加ファイバEDF-fおよびEDF-bを、本構成に限って特別に長さ等を設定した特殊エルビウム添加ファイバSEDF-fおよびSEDF-bに置き換え、また、励起光波長の例としては、1480nmの1波長から、1470nmと1500nmの2波長に変更している。すなわち、同時2波長励起としている。例えば、特殊エルビウム添加ファイバは、通常の用途より若干短めの、エルビウム添加テルライトファイバである。伝送ファイバ-fおよび伝送ファイバ-bは、1470nmと1500nmの高パワーの励起光で励起され、それら伝送ファイバ内に分布的なラマン利得を与える。また、特殊エルビウム添加ファイバSEDF-fおよびSEDF-bは、伝送ファイバを透過したそれらの励起光で励起され、集中的なEDF（エルビウム添加ファイバ）利得を与える。上記の特殊エルビウム添加ファイバおよび励起光に関するパラメータはあくまでも1例であり、実際には幾つかの組み合わせや値が可能である（文献[5] S. Kawai et al., IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 11, pp. 886-888, 1999）。

【0021】本第3構成における利得スペクトルを、図5(b)に示す。特殊エルビウム添加ファイバ(SEDF)の利得スペクトルと、励起光で励起された伝送ファイバのラマン利得スペクトル、およびそれらの和である全利得が示されている。ラマン利得は、1600nm付近にピーク値を示し、短波長側で利得が小さい。一方、SEDFの利得は、1530nm付近にピーク値を示し、長波長側で利得が小さい。その結果、全利得は1530-1600nmの広い波長域で高い利得・平坦な利得を示しており、帯域幅は約70nmである（文献

[5] S. Kawai et al., IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 11, pp. 886-888, 1999）。特殊エルビウム添加ファイバ単体では、利得帯域は小さいが、本構成により利得帯域が顕著に拡大されていることがわかる。すなわち、本構成の遠隔励起光ファイバ通信システムの利得帯域が拡大されている。

【0022】本発明の遠隔励起光ファイバ通信システムの第4の構成を、図6に示す。図中、図9と同一部分は同一符号を付してその説明を省略する。本第4構成では、利得の安定化を図っている。本第4構成では、図1の従来技術における励起光波長を、信号光波長により近い、長波長に変更している。例えば、従来技術の1480nmを、本構成の1510nmに変えている。励起光波長が、十分な信号光利得を確保しつつ、信号光波長に近い値になると、入力励起光パワー変動に対する利得変化の割合が小さくなる。

【0023】ただし、従来技術において1480nm近

辺の励起光波長が用いられていた理由として、1480 nm近辺の励起光波長において励起効率および雑音指数が最適になるなどの理由があった。その様子を図10に示す。(a)が励起効率、(b)が雑音指数の励起光波長依存性である。したがって、1510 nmの励起光波長では若干の励起効率および雑音指数の劣化があるが、上記のように利得変化の割合が小さくなるという効果の方が重要である場合が想定される。

【0024】本第4構成における利得スペクトルを、図6(b)に示す。入力励起パワー変動時の利得スペクトルの変動が、図9(b)の従来技術の場合に比べ減少していることがわかる。すなわち、利得の安定性が向上している。

【0025】

【実施例】以下に、第1-5実施例を示しているが、第1-4実施例が前記本発明の第1-4構成に関するものであり、第5実施例が前記本発明の第1構成と第2構成を組み合わせたもの、第6実施例が前記本発明の第2構成に関するものである。

【0026】[第1実施例] 図1及び図2は、本発明第1実施例の遠隔励起光ファイバ通信システムの構成を示している。構成および動作の概略はすでに述べているが、ここでは、主に詳細を述べる。本第1実施例では、利得帯域幅の拡大を図っている。また、本実施例を含めた以下の実施例において、エルビウム添加ファイバを用いているが、他の希土類添加ファイバ(例えば、トリウム添加ファイバ)でもよい。エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bは、おのこの2つのエルビウム添加ファイバを有している。それらはエルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fについてエルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-f-l、エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-bについてエルビウム添加ファイバEDF-b-sおよびEDF-b-lである。一般に、エルビウム添加ファイバの利得帯域には、短波長帯(1.55 μ m帯)および長波長帯(1.58 μ m帯)があるが、エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sは、短波長帯の増幅に用い、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lは、長波長帯の増幅に用いている。エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sと、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lの違いは主に長さであり、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lは、エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sの数倍の長さを有する。例えば、それらのエルビウム添加ファイバはエルビウム添加シリカファイバであり、エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sの長さは10m、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lの長さは50mである。

【0027】エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bに入射した波長多重の信号光は、信号光の分波器19、20により、1.55 μ m帯と1.58 μ m帯の信号光に分離され、それぞれ短波長帯のエルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sおよび長波長帯のエルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-lに導かれて増幅される。その後、信号光の合波器21、22により合波される。一方、励起光の流れは、以下のようになっている。信号光とともにエルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fに入射した前方向励起光は、励起光の分波器23により信号光から分離され、分岐器25により比率1:2(エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sと、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-l、に入射する励起光パワーの比率)で分岐され、励起光の合波器27、28により、エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-f-lを信号光の入射方向(前方向)から励起するように、信号光と合波される。また、信号光と逆方向からエルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-bに入射した後方向励起光は、励起光の分波器24により信号光から分離され、分岐器26により比率1:2(エルビウム添加ファイバEDF-f-sおよびEDF-b-sと、エルビウム添加ファイバEDF-f-lおよびEDF-b-l、に入射する励起光パワーの比率)で分岐され、励起光の合波器29、30により、エルビウム添加ファイバEDF-b-sおよびEDF-b-lを信号光の入射方向(前方向)から励起するように、信号光と合波される。ただし、エルビウム添加ファイバを上記とは逆に後方向から励起してもよい。前方向からの励起と後方向からの励起では、主に、エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bの雑音特性が異なる。

【0028】本第1構成で得られる利得スペクトルを、図1(b)に示す。短波長帯に30 nm(1530-1560 nm)の利得帯域幅と、長波長帯に30 nm(1570-1600 nm)の利得帯域幅が得られている。利得値の例は、エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bのそれぞれにつき、約20 dBである。各伝送ファイバ(伝送ファイバーf、伝送ファイバーi、伝送ファイバーb)の長さの例は、80 kmであり、伝送ファイバは約20 dBである。別の利得値の例は、エルビウム添加ファイバモジュールEDF-M-fおよびEDF-M-bのそれぞれにつき、約10 dBである。そのとき、各伝送ファイバ(伝送ファイバーf、伝送ファイバーi、伝送ファイバーb)の長さの例は、40 kmであり、伝送ファイバは約10 dBである。ただし、それらの利得は、伝送ファイバ中で生じる、若干の分布的なラマン利得を含んでいる。図9の従来技術では、短波長帯の30 nm(1530-15

60 nm) の帯域幅であったから、利得帯域幅は、2 倍になっている。すなわち、本第 1 構成により、利得帯域幅の拡大が図れる。

【0029】[第 2 実施例] 図 3 及び図 4 は、本発明第 2 実施例の遠隔励起光ファイバ通信システムの構成を示している。図 3 (a) が概略図、図 4 が詳細図である。構成および動作の概略はすでに述べているが、ここでは、主に詳細を述べる。本第 2 実施例では、利得の安定化を図っている。エルビウム添加ファイバ EDF-f および EDF-b の前後に、ファイバグレーティング (FG) を設置してエルビウム添加ファイバ EDF-f および EDF-b をレーザ発振させ、光学的な利得一定制御を行っている。ファイバグレーティングの反射波長はエルビウム添加ファイバの増幅波長域内に設定され、レーザ発振の波長はそのファイバグレーティングの反射波長で決まる。また、ファイバグレーティングは信号光を透過させる。エルビウム添加ファイバ EDF-f および EDF-b は、それぞれ両端のファイバグレーティングにより、いわゆるファブリーペロー型の共振器でレーザ発振して、利得一定動作を行う。

【0030】図 4 の詳細図に例を示したように、信号光波長 1530-1560 nm のとき、エルビウム添加ファイバ EDF-f に関し、ファイバグレーティング FG-f-f および FG-f-b の反射中心波長および反射軸は、それぞれ 1525 nm および 1 nm であり、ファイバグレーティング FG-f-f および FG-f-b のピーク反射率はそれぞれ約 100% および 10% である。このとき、レーザ発振が 1525 nm で起こり、信号光と同方向に伝搬するレーザ発振光のパワーが、逆方向に伝搬するレーザ発振光のパワーより顕著に大きくなり、エルビウム添加ファイバ EDF-f の雑音指数が低くなって好都合である。信号光と同方向に伝搬するレーザ発振光のパワーはかなり大きく、信号光の伝送特性に悪影響を与える場合があるので、アイソレータ 10 を通した後、高反射率 (約 100%) のファイバグレーティング FG-r で反射させ、アイソレータ 10 で伝搬を阻止して、除去を行っている。エルビウム添加ファイバ EDF-b に関しても、同じことが成り立つ。

【0031】本第 2 構成における利得スペクトルを、図 3 (b) に示す。エルビウム添加ファイバ入力励起光パワー (Pp) 依存性において、一定の利得スペクトルが得られており、従来技術の課題が解決されている。平坦利得値例は、約 20 dB である。入力励起光パワーの変動値例は、±1 dB である。

【0032】[第 3 実施例] 図 5 は、本発明第 3 実施例の遠隔励起システムの構成を示している。構成および動作の概略はすでに述べているが、ここでは、主に詳細を述べる。本第 3 実施例では、利得帯域幅の拡大を図っている。特殊エルビウム添加ファイバは、通常の用途より若干短めの、エルビウム添加テルライトファイバであ

る。その長さの例は、3 m である。励起光波長は 1470 nm と 1500 nm の 2 波長である。伝送ファイバ f および伝送ファイバ b は、1470 nm と 1500 nm の高パワーの励起光で励起され、それら伝送ファイバ内に分布的なラマン利得を与える。また、特殊エルビウム添加ファイバ SEDF-f および SEDF-b は、伝送ファイバを透過したそれらの励起光で励起され、集中的な SEDF 利得を与える。

【0033】本第 3 構成における利得スペクトルを、図 5 (b) に示す。特殊エルビウム添加ファイバ (SEDF) の利得スペクトルと、励起光で励起された伝送ファイバのラマン利得スペクトル、およびそれらの和である全利得が示されている。ラマン利得は、1600 nm 付近にピーク値を示し、短波長側で利得が小さい。一方、SEDF の利得は、1530 nm 付近にピーク値を示し、長波長側で利得が小さい。その結果、全利得は、1530-1600 nm の広い波長域で高い利得・平坦な利得を示しており、利得および帯域幅はそれぞれ約 20 dB および約 70 nm である。エルビウム添加ファイバ単体では、利得帯域は小さいが、本構成により利得帯域が顕著に拡大されていることがわかる。すなわち、本構成の遠隔励起光ファイバ通信システムの利得帯域が拡大されている。

【0034】[第 4 実施例] 図 6 は、本発明第 4 実施例の遠隔励起光ファイバ通信システムの構成を示している。構成および動作の概略はすでに述べているが、ここでは、主に詳細を述べる。本第 4 実施例では、利得の安定化を図っている。本第 4 構成における励起光波長は 1510 nm である。励起光波長が、十分な信号光利得を確保しつつ、信号光波長に近い値になると、入力励起光パワー変動に対する利得変化の割合が小さくなる。信号光帯域は 1530-1560 nm である。別の励起光波長としては、1500 nm、1520 nm などがある。

【0035】本第 4 構成における利得スペクトルを、図 6 (b) に示す。入力励起光パワー変動時の利得スペクトルの変動が、図 9 (b) の従来技術の場合に比べ減少していることがわかる。平坦利得値例は、約 20 dB である。入力励起光パワーの変動値例は、±1 dB である。このとき、従来技術における利得変動は、1530 nm において、±2 dB であるが、本実施例においては ±0.5 dB となる。すなわち、利得の安定性が向上している。

【0036】[第 5 実施例] 図 7 は、本発明第 5 実施例の遠隔励起光ファイバ通信システムの構成の一部を示している。図中、図 2 (a) と同一部分は同一符号を付してその説明を省略する。すなわち、エルビウム添加ファイバモジュール EDF-M-f 部分のみを示している。EDF-M-b 部分に関しては同様であり、その他の部分については、前記第 1 実施例と同じである。本実施例は、前記第 1 実施例と第 2 実施例を組み合わせた実施例

である。本第 5 実施例では、利得帯域幅の拡大とともに、利得の安定化を図っている。エルビウム添加ファイバ EDF-f-s と EDF-f-s の両端にファイバグレーティング FG を設置して利得一定制御を行いつつ、短波長帯と長波長帯の 2 波長帯構成を用いて、利得帯域幅の拡大を行っている。従来技術と比べ、明らかに、利得帯域幅の拡大（約 2 倍）と、利得安定化（利得変動なし）を達成できる。

【0037】【第 6 実施例】図 8 は、本発明第 6 実施例の遠隔励起システムの構成を示している。図中、図 3 (a) と同一部分は同一符号を付してその説明を省略する。本第 6 実施例は前記第 2 実施例に類似しており、ともに前記本発明の第 2 構成を用いたものである。前記第 2 実施例では、ファブリーペロー型のレーザ共振器を用いているが、本第 6 実施例ではリング型のレーザ共振器を用いている。本第 6 実施例では、利得の安定化を図っている。エルビウム添加ファイバ EDF-f および EDF-b の前後に、それぞれ対応して信号光とレーザ光の合波器 31、32 および分波器 33、34 を設置し、それぞれ対応した合波器 31、32 および分波器 33、34 を光ファイバで結んで、前記エルビウム添加ファイバ EDF-f または EDF-b を含む、リング型のレーザ共振器を構成している。本図では、簡単のため省略したが、発振波長を限定するための波長選択素子等を必要に応じて前記リング内に適宜設置する（文献 [4] G. Luo et al., IEEE J. Lightwave Technol., Vol. 16, pp. 527-533, 1998）。レーザ発振動作により、前記エルビウム添加ファイバ EDF-f および EDF-b の利得が、入力励起光および信号光のパワーに依らず、一定に制御される。

【0038】以上述べたように、前記実施例によれば、従来技術のラマン増幅器で問題であった、信号光平坦利得を大きくすると、利得帯域幅が制限される。あるいは、利得帯域幅を大きくすると、信号光平坦利得が制限される、という欠点を解決できる。

【0039】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、利得帯域幅を拡大でき、また利得安定化（利得変動なし）を達成できる遠隔励起光ファイバ通信システム及び光ファイバモジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 (a) は本発明の第 1 の実施例を示す構成説明図、(b) は本発明の第 1 の実施例の利得スペクトルを示す特性図である。

【図 2】 本発明の第 1 の実施例に用いる光ファイバモジュールを示す構成説明図である。

【図 3】 (a) は本発明の第 2 の実施例を示す構成説明図、(b) は本発明の第 2 の実施例の利得スペクトルを示す特性図である。

【図 4】 本発明の第 2 の実施例に用いる光ファイバモジュールを示す構成説明図である。

【図 5】 (a) は本発明の第 3 の実施例を示す構成説明図、(b) は本発明の第 3 の実施例の利得スペクトルを示す特性図である。

【図 6】 (a) は本発明の第 4 の実施例を示す構成説明図、(b) は本発明の第 4 の実施例の利得スペクトルを示す特性図である。

【図 7】 本発明の第 5 の実施例に用いる光ファイバモジュールを示す構成説明図である。

【図 8】 本発明の第 6 の実施例を示す構成説明図である。

【図 9】 (a) は従来の遠隔励起光ファイバ通信システムを示す構成説明図、(b) は従来の遠隔励起光ファイバ通信システムの利得スペクトルを示す特性図である。

【図 10】 遠隔励起光ファイバ通信システムの励起効率と雑音指数の励起光波長依存性を示す特性図である。

【符号の説明】

11 送信器または送信側中継器

12 受信器または受信側中継器

13 励起光源

14 励起光源

15 合波器

16 合波器

17 電源

18 電源

f 伝送ファイバ

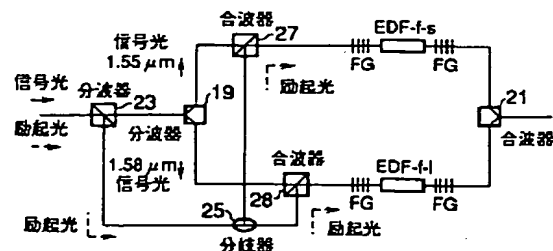
i 伝送ファイバ

b 伝送ファイバ

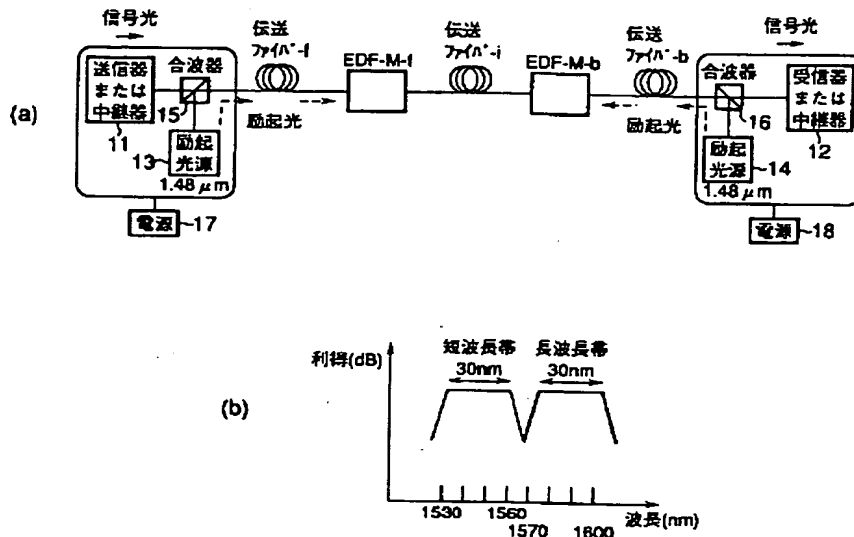
EDF-M-f エルビウム添加ファイバモジュール

40 EDF-M-b エルビウム添加ファイバモジュール

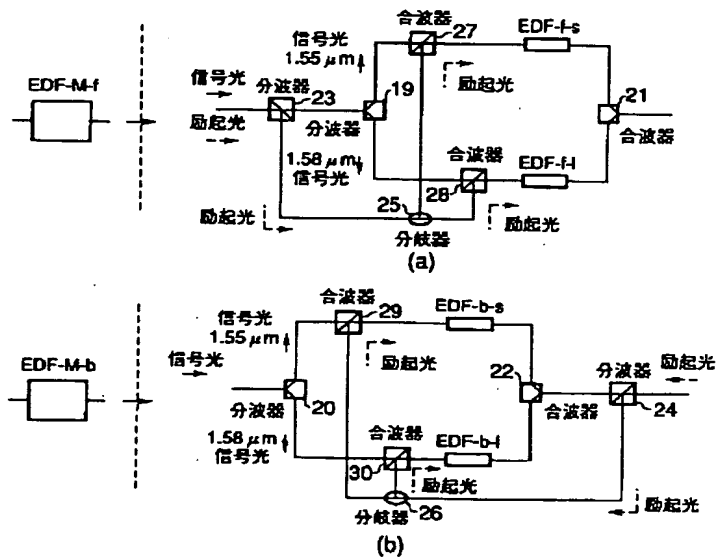
【図 7】



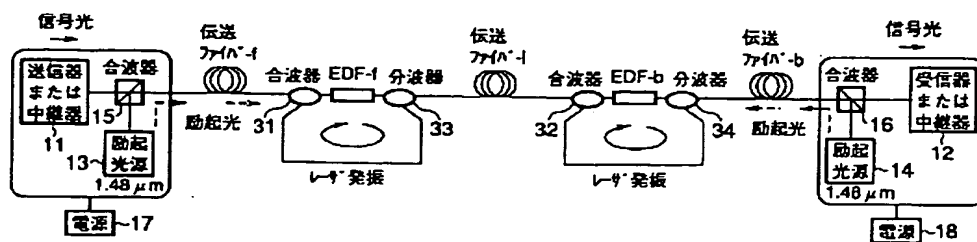
【図 1】



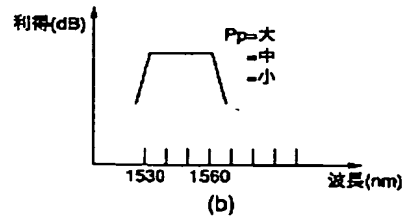
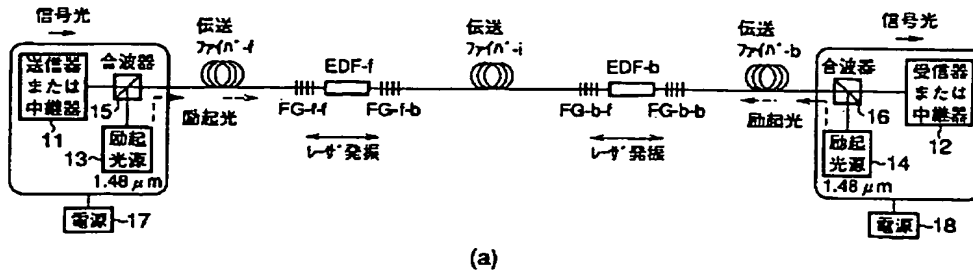
【図 2】



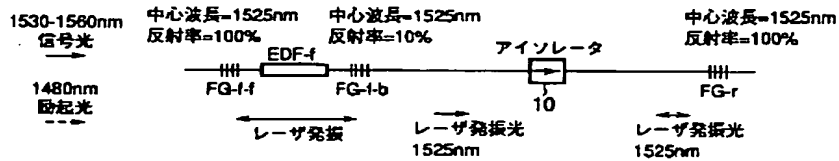
【図 8】



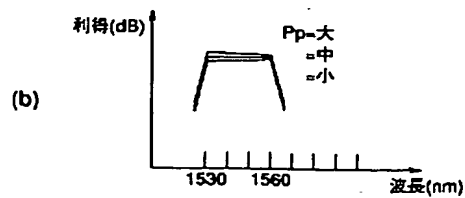
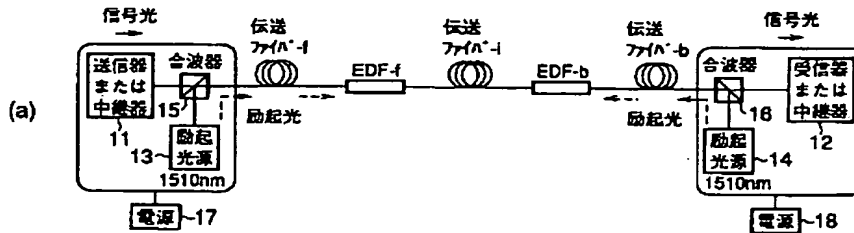
【図 3】



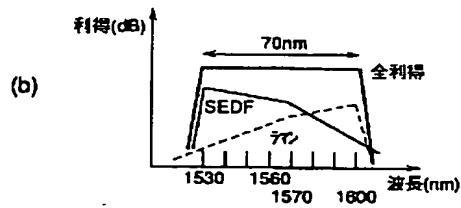
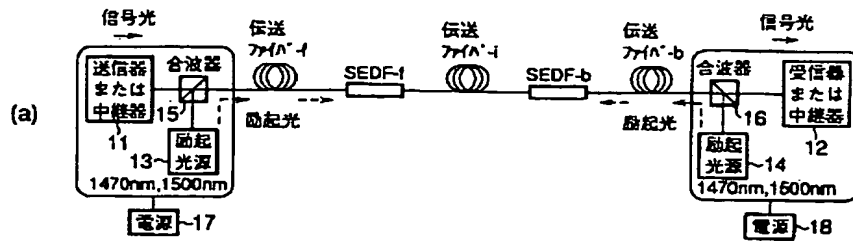
【図 4】



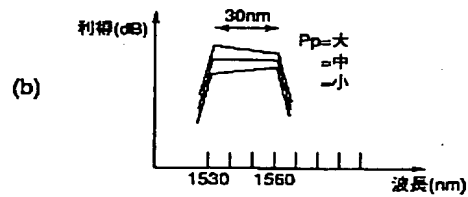
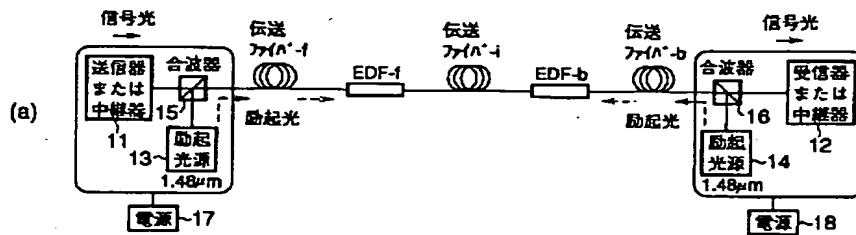
【図 6】



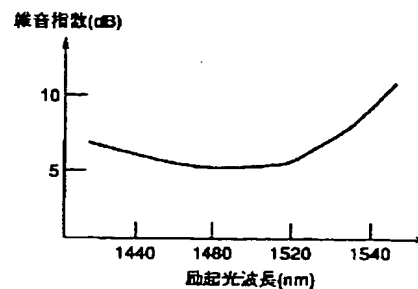
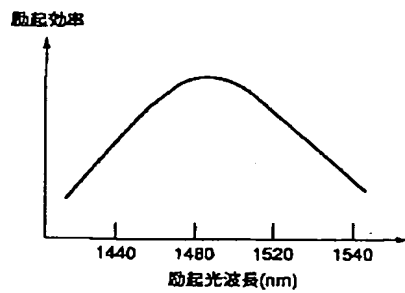
【図 5】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB12 AB30 BA01 CA13
DA11 EA28 GA10
5F072 AB09 AK06 JJ20 KK06 RR01
YY17